

В.В. Бочка, А.В. Сова, А.В. Двоєглазова, М.В. Ягольник, М.О. Ващенко

## ОСОБЛИВОСТІ СПІКАННЯ АГЛОМЕРАТУ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ШИХТИ З ПОПЕРЕДНЬО ПІДГОТОВЛЕНИМИ КОМПОЗИТАМИ

*У статті досліджували різні способи спільного, а також роздільного грудкування компонентів шихти. Задачею є розробка, теоретичне та експериментальне обґрунтування способу грудкування агломераційної шихти, який дозволить формувати гранули заданого гранулометричного та мінералогічного складу, створивши умови для отримання в процесі спікання агломерату блочної структури високої міцності. Проведено дослідження ефективності роздільного грудкування шихти з використанням композитів заданого складу з метою формування міцного агломерату блочної структури заданого хімічного та гранулометричного складу. Запропоновано спосіб роздільного грудкування з використанням композиту з концентрату, залізної руди крупністю 0-3 мм, вапна та вапняку, основність якого складатиме 0,9-1,0 од. Технологія передбачає дозування, змішування та грудкування даного композиту, при цьому залишкова шихта, основність 1,6-1,8 од., дозується та змішується паралельно. Після цього відбувається спільна грануляція композитів в барабані-грануляторі. Паливо, крупністю 0-7 мм подається наприкінці грануляції. Виробництво агломерату запропонованим способом дозволяє збільшити вихід придатного агломерату на 10,29 %, і фракції +5 мм на 11,5% після випробування на міцність. Ця технологія призвела до зменшення кількості фракції 0-1 мм та збільшення еквівалентного діаметра гранул; зменшення середньоквадратичного відхилення та коефіцієнту варіації. Найкраща якість агломерату була забезпечена при використанні композиту з «концентрату – руди – вапна – вапняку», основність якого складала 0,9-1,0 одиниць. Запропонована технологія передбачає дозування, змішування та грудкування даного композиту. Залишкова шихта, основність 1,6-1,8 од., дозується та змішується паралельно. Після цього відбувається спільна грануляція композитів в барабані-грануляторі. Паливо, крупністю 0-7 мм подається наприкінці грануляції.*

**Ключові слова:** агломерат, композит, гранулювання, міцність, фракція.

### Постановка проблеми

Важливим компонентом залізорудної частини шихти для виплавки чавуну є агломерат, якість якого в значній мірі визначає ефективність роботи доменних печей.

Одними з основних характеристик якості агломерату, які впливають на доменну плавку, є рівномірність гранулометричного складу та міцність, яка визначається блоковою структурою, мінералогічним складом і властивостями речовин, які зв'язують між собою блоки, наявністю у кусках неспечених компонентів, крупних пор

і внутрішніх напружень, виникаючих впродовж агломераційного процесу й охолодження спеченця [1].

Формування якості агломерату здійснюється на всіх етапах його виробництва. Важливим етапом отримання якісного агломерату є підготовка агломераційної шихти до спікання.

Згідно традиційної схеми, всі компоненти шихти після зважування ретельно змішуються. Потім ця суміш надходить до пристроя-грудкувача, де шихта зволожується та грудкується до гранул різної величини та заданого складу. Грудкована шихта поступає на агломашину для подальшого спікання, при цьому його ефективність в значній мірі залежить від крупності та однорідності гранулометричного і мінералогічного складу гранульованої шихти [2].

Слід зазначити, що таким способом підготовки шихти до спікання отримати високий ступінь однорідності гранул за крупністю та хімічним складом проблематично через недостатнє врахування особливостей поведінки матеріалів при зволоженні та грудкуванні, а також через значні коливання розмірів часток агломераційної шихти. Особливо це стосується грудкування шихт, які містять значну кількість концентратів, крупністю менше 0,1 мм та крупнозернистих компонентів, таких як залізна руда та зворот.

У результаті грудкування такої шихти значна кількість дрібної фракції не грудкується зовсім (до 25-30%), а крупні фракції накочуються тонкоподрібненим матеріалом з утворенням гранул, розміром більше 10-15 мм, які під час руху в барабані-грудкувачі руйнують більш слабкі, дрібні гранули.

Це призводить до зниження газопроникності сирих гранул. Окрім того, така схема грудкування не забезпечує в достатній мірі рівномірне розподілення компонентів шихти в гранулах, що негативно впливає на процеси твердо- та рідкофазного спікання агломерату.

Значні коливання гранулометричного складу грудкованої шихти, а також нерівномірне розподілення в гранулах різних шихтових матеріалів і, особливо, флюсів, суттєво обмежують можливості формування та виробництва агломерату блокової структури високої міцності [1; 3].

Це висуває необхідність розробки нових шляхів удосконалення підготовки агломераційної шихти до спікання.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Оптимізації процесів грудкування агломераційної шихти приділяється багато уваги.

Одним із напрямків вирішення цього питання є використання роздільного грудкування компонентів шихти до спікання. При такому способі підготовки шихти, її компоненти розділяють на дві частини. У роботі [4] запропоновано спосіб двостадійної технології грануляції, в якому 70% шихти зволожували з надлишком та

гранулювали в малому барабані, а після на неї накочували залишкову шихту, що позитивно впливало на гранулометричний склад отриманих гранул і їх зволоження.

У роботах [5; 6] підтверджено позитивний вплив роздільного грудкування на підготовку шихти. Автори стверджують, що процес утворення гранул в барабані суттєво покращується без додавання у початкову шихту палива.

У роботі [7] зроблено висновок, що підвищити пористість і газопроникність шару шихти можливо в спеціальному барабані-грудкувачі, в першій частині робочого простору якого утворюються зародки гранул крупністю 2-2,6 мм, а у другій частині вже здійснюється накат усієї іншої шихти на поверхню зародків, що призводить до збільшення крупності і міцності гранул.

У той же час, слід зазначити, що наведені способи попереднього грудкування не мають достатнього теоретичного і технологічного обґрунтування, в результаті чого вони не мають широкого розповсюдження на практиці.

### **Мета дослідження**

Задачею даної статті є розробка, теоретичне та експериментальне обґрунтування способу грудкування агломераційної шихти, який дозволить формувати гранули заданого гранулометричного та мінералогічного складу, створивши умови для отримання в процесі спікання агломерату блочної структури високої міцності.

### **Викладення основного матеріалу дослідження**

Дослідження способів грудкування агломераційної шихти з використанням попередньо підготовлених композитів проводили на експериментальній установці для спікання агломерату в лабораторії кафедри металургії чавуну НМетАУ.

Склад та умовне позначення шихтових матеріалів, який розраховувався на отримання основності шихти  $(CaO/SiO_2) = 1,27$  од., представлено у таблиці 1. Сумарна витрата води на кожне спікання становила 9% від загальної маси шихти.

Таблиця 1

Склад шихти

Склад шихти	Концентрат (К)	Залізна руда (Р)		Зворот (З)	Вапно (Во)	Вапняк (Вк)	Кокс (Кс)	Загалом
Крупність, мм	0-3	0-3	3-10	0-10	0-3	0-3	0-3	
Маса, %	50	6,5	3,5	25	4	5	6	100

Досліджували різні способи спільного, а також роздільного грудкування компонентів шихти. Технологія роздільного грудкування від грудкування усієї шихти відрізняється тим, що спершу зволожується та грудкується заданий композит на основі з концентрату, а потім до отриманих гранул додаються інші компоненти, продовжуючи процес грудкування. Це сприяє формуванню оптимального

мінералогічного та гранулометричного складу сирих гранул, які утворюються під час підготовки шихти до спікання. Витрата води розділяється по масі композиту.

З компонентів реальної аглошихти попередньо виготовляли дво-, три- та чотирикомпонентні композити на основі концентрату, до яких потім додавали інші компоненти шихти для остаточного грудкування.

Згідно з наведеними у табл. 2 даними можна відзначити, що використання роздільного грудкування в цілому позитивно впливає на процес підготовки шихти. Так, після грудкування шихти з використанням попередньо підготовлених композитів у порівнянні з сумісним грудкуванням значно зменшується кількість фракції 0-1 мм та збільшується еквівалентний діаметр гранул; зменшуються показники середньо-квадратичного відхилення та коефіцієнту варіації, що свідчить про отримання більш однорідного гранулометричного складу сирих гранул.

У той же час слід відзначити, що при роздільному грудкуванні в сирих гранулах суттєво збільшується вміст фракції +10 мм, яка негативно впливає на процес спікання агломерату. Основною причиною цього може бути наявність в шихті крупних часток руди, звороту, які суттєво впливають на процеси утворення та росту гранул. Крім того аналіз складу сирих гранул показав велику нерівномірність розподілу в них компонентів шихти.

Таблиця 2

Характеристика крупності вихідної шихти при різних способах грудкування

Варіант грудкування	Вміст фракції, %						d <sub>екв</sub> , мм	Середньо-квадратичне відхилення	Коефіцієнт варіації	
	+ 10 мм	7-10 мм	5-7 мм	3-5 мм	1-3 мм	0-1 мм				
Сумісне	0,05	0,09	0,09	0,14	0,50	0,14	3,38	0,17	0,99	
Роздільне	КР	0,31	0,18	0,11	0,15	0,23	0,01	6,45	0,10	0,62
	КВо	0,23	0,11	0,09	0,13	0,40	0,03	5,17	0,13	0,80
	КВк	0,29	0,11	0,10	0,16	0,32	0,01	5,77	0,12	0,70
	КРЗ	0,22	0,13	0,09	0,14	0,38	0,04	5,15	0,12	0,71
	КРВо	0,15	0,13	0,13	0,17	0,41	0,01	4,94	0,13	0,78
	КРВк	0,35	0,08	0,10	0,10	0,33	0,04	5,84	0,14	0,82
	КЗВо	0,24	0,10	0,08	0,12	0,43	0,03	5,06	0,15	0,87
	КЗВк	0,04	0,12	0,11	0,13	0,56	0,04	3,71	0,20	1,19
	КВоВк	0,20	0,10	0,11	0,16	0,40	0,01	5,06	0,13	0,79
	КРЗВк	0,08	0,14	0,12	0,13	0,47	0,05	4,21	0,15	0,91
	КРЗВо	0,14	0,14	0,10	0,15	0,45	0,02	4,66	0,15	0,88
	КРВоВк	0,26	0,10	0,12	0,16	0,35	0,01	5,51	0,12	0,73
КЗВоВк	0,32	0,14	0,10	0,19	0,23	0,01	6,22	0,11	0,64	

Використання роздільного грудкування шихти, незважаючи на покращення гранулометричного складу сирих гранул, як видно з рис.1, неоднозначно впливає на

процеси спікання та формування якісного агломерату заданої структури та властивостей.

На рис. 1 наведено вплив роздільного грудкування з використанням різних композитів на якість агломерату, яку визначали після проведених спікань показниками виходу придатного агломерату (фракції +10 мм) та виходу агломерату після випробування на міцність: фракцій +5 мм та 0-5 мм.

Серед двокомпонентних композитів, представлених на рис.1А, найкращу якість агломерату отримали з використанням композиту «концентрат – вапняк». Формування композиту «концентрат – руда» призводить до значного перезволоження та утворення крупних гранул, а також не дозволяє рівномірно розподіляти флюс, що в свою чергу погіршує процес спікання та якість агломерату. Однак використання двокомпонентних сумішей, через значну кількість залишкової шихти не дозволяє ефективно розподіляти компоненти у гранулах.

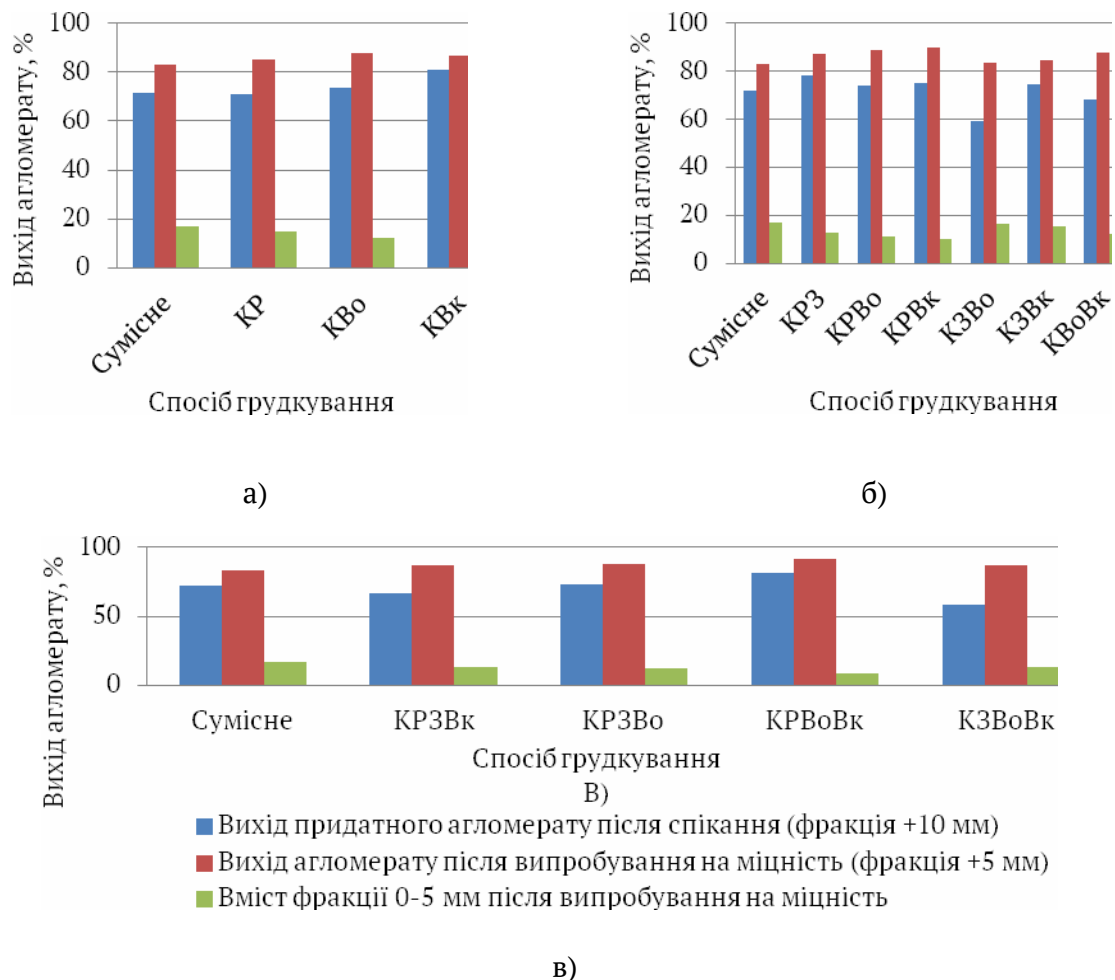


Рисунок 1 – Якість агломерату при спіканні шихти з використанням двокомпонентних (А), трикомпонентних (Б) і чотирикомпонентних (В) композитів

Серед трикомпонентних композитів (рис. 1 б) найкращий результат дає шихта, підготовлена з використанням композиту «концентрат – руда – зворот», однак відсутність у такому композиті флюсів унеможливорює надання гранулам заданих

властивостей. Високі показники якості агломерату отримані при використанні композитів «концентрат – руда – вапняк», «концентрат – руда – вапно». Додавання вапняку та вапна до концентрату та руди покращує їхній процес зволоження і ця активна взаємодія компонентів з водою дозволяє рівномірно розподіляти в утворених гранулах флюс.

Ефективність взаємодії цих компонентів під час грудкування доведена під час спікання вихідних шихт, утворених з використанням чотирикомпонентних сумішей (рис.1 в), де найкраща якість агломерату серед усіх проведених спікань була забезпечена при використанні композиту з «концентрату – руди – вапна – вапняку».

Для покращення ефективності грудкування, з використанням попередньо підготовленого композиту КРВоВк, прийнято рішення розділити руду на фракції: 0-3 мм, яка подаватиметься до складу першого композиту, та 3-10 мм, яка буде використовуватися разом із зворотом і залишком флюсів у другому композиті.

Компоненти формуються так, щоб забезпечити в першому композиті основність гранул на рівні 0,9-1,0 од. Така основність забезпечується подачею в перший композит усього вапна та частини вапняку. Інша частина вапняку надходить до складу другого композиту із залишкової шихти, формуючи його основність на рівні 1,6-1,8 од.

Технологічна схема грудкування шихти з використанням вищенаведених композитів передбачає можливість організації послідовного та паралельного способів роздільної підготовки шихти.

В послідовному способі спершу змішується, зволожується та грудкується перший композит, після чого до нього додається другий композит із залишкової шихти для спільного грудкування, під кінець якого до гранульованої шихти в барабан додається тверде паливо крупністю 0-7 мм.

Під час паралельного способу підготовки шихти відбувається дозування, змішування та грудкування даного композиту, при цьому залишкова шихта, основністю 1,6-1,8 од., дозується та змішується паралельно. Після цього відбувається спільна грануляція композитів в барабані-грануляторі. Паливо в шихту подається так само, як і в першому способі.

Проведені дослідження ефективності використання указаних способів. В табл. 3 наведено характеристики гранулометричного складу сирих гранул при різних способах підготовки шихти. При послідовному грудкуванні суттєво зростає коливання гранулометричного складу гранул. Основною причиною цього є значне збільшення кількості фракції >10 мм при суттєвому зменшенні вмісту фракцій 3-10 мм. Це свідчить про те, що при наявності в тонкоподрібненій шихті великої кількості крупних кусочків суттєво зростає швидкість утворення гранул великого розміру.

Паралельний спосіб роздільної підготовки шихти суттєво покращує гранулометричний склад сирих гранул. При частковому зменшенні еквівалентного діаметра гранул має місце зменшення коефіцієнта варіації їх крупності. Переваги

цього способу грудкування підтверджуються і показниками якості спеченого агломерату, наведеними у табл. 4.

Виробництво агломерату при паралельному способі роздільного грудкування у порівнянні з сумісним способом грудкування (рис. 1) характеризується збільшенням виходу придатного агломерату на 10,29 %, збільшенням виходу фракції +5 мм на 11,5% після випробування на міцність та зменшення вмісту фракції 0-5 мм на 11,5. Це можна пояснити більш ефективним розподіленням вологи між компонентами шихти, що дозволяє грудкувати вихідну шихту не лише більш рівномірно за крупністю, а й за розподіленням її компонентів.

Таким чином проведені дослідження дозволили розробити раціональний спосіб підготовки шихти до спікання з використанням композитів заданого складу та властивостей.

Таблиця 3

Характеристики крупності вихідної шихти при різних способах роздільного грудкування з використанням композиту КРВоВк

Спосіб роздільної підготовки шихти	Вихід фракції, %						d <sub>екв</sub> , мм	Середньо-квадратичне відхилення	Коефіцієнт варіації
	+ 10 мм	7-10 мм	5-7 мм	3-5 мм	1-3 мм	0-1 мм			
Послідовний	0,33	0,08	0,10	0,10	0,37	0,02	5,65	0,15	0,88
Паралельний	0,13	0,094	0,204	0,24	0,32	0,012	4,79	0,11	0,66

Таблиця 4

Вплив способу підготовки шихти з обраним композитом на якість агломерату

Спосіб роздільної підготовки шихти	Вихід придатного агломерату, +10 мм, %	Вихід агломерату після випробування на міцність, +5 мм, %	Вміст в агломераті фракції 0-5 мм після випробування на міцність, %
Послідовний	81,76	91,5	8,5
Паралельний	82,05	94,5	5,5

Використання даного способу дозволяє ефективно впливати на гранулометричний та мінералогічний склад сирих гранул, що забезпечує можливість виробництва агломерату високої якості.

### Висновки

Проведено дослідження ефективності роздільного грудкування шихти з використанням композитів заданого складу з метою формування міцного агломерату блочної структури заданого хімічного та гранулометричного складу.

Запропоновано спосіб роздільного грудкування з використанням композиту з концентрату, залізної руди крупністю 0-3 мм, вапна та вапняку, основність якого складатиме 0,9-1,0 од. Технологія передбачає дозування, змішування та грудкування

даного композиту, при цьому залишкова шихта, основністю 1,6-1,8 од., дозується та змішується паралельно. Після цього відбувається спільна грануляція композитів в барабані-грануляторі. Паливо, крупністю 0-7 мм подається наприкінці грануляції.

Виробництво агломерату запропонованим способом дозволяє збільшити вихід придатного агломерату на 10,29 %, і фракції +5 мм на 11,5% після випробування на міцність.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Ковалев Д.А., Теоретические основы производства окускованого сырьѐ: Учебное пособие для высших учебных заведений. Ковалев Д.А., Ванюкова Н.Д., Иващенко В.П., Крикунов В.П., Ягольник М.В., Бойко М.Н. – НметАУ. – Днепропетровск: ИМА-пресс. – 2011. – 476 с.
2. Ефименко Г.Г., Metallurgiya chuguna : учебник для вузов / Г. Г. Ефименко, А. А. Гиммельфарб, В. Е. Левченко. - К. : Вища школа, 1981. - 496 с.
3. Сулименко С.Е., Перспективные направления создания экологически чистой технологии получения агломерата повышенного качества в современных условиях. Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов. – Днепропетровск, 2014, - Выпуск 4 (93), с. 32-38.
4. Романенко В.П., Технология двухстадийного окомкования агломерационной шихты, В.П. Романенко, Г.Н. Попов, республиканская научно-техническая конференция «Теоретические основы и технология подготовки металлургического сырьѐ к доменной плавке, Днепропетровск, 1980, с. 13-15.
5. Коршиков Г.В., Шаров С.И. и др. Влияние способа подачи топлива, его вида и крупности на показатели процесса спекания концентрата КМА. Известия ВУЗов. Черная металлургия, 1971, №3, С.37-39., №6, С.39-42.
6. Вылупко Е.Е., Получение окускованного железорудного материала блочно-ячеестого строения, Е.Е. Вылупко, Н.В. Игнатов, О.В. Губа, В.А. Усенко, А.П. Белова, “Сучасні проблеми металургії”, № 14, – 2011 г, ст. 50-57.
7. Худяков А.Ю., Бойко М.Н., Баюл К.В., Ващенко С.В., Полякова Н.В., Петренко В.И. Альтернативные способы грануляции тонкоизмельченных железорудных концентратов. Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2018;1(1):48-53.

### REFERENCES

1. Kovalev D.A., Teoreticheskie osnovyi proizvodstva okuskovanogo syirya: Uchebnoe posobie dlya vyisshih uchebnyih zavedeniy. Kovalev D.A., Vanyukova N.D., Ivaschenko V.P., Krikunov V.P., Yagolnik M.V., Boyko M.N. – NmetAU. – Dnepropetrovsk: IMA-press. – 2011. – 476 s.
2. Efimenko G.G., Metallurgiya chuguna : учебник для вузов / G.G. Efimenko, A.A. Gimmelfarb, V. E. Levchenko. - K. : Vischa shkola, 1981. - 496 s.
3. Sulimenko S.E., Perspektivnyie napravleniya sozdaniya ekologicheski chistoy tehnologii polucheniya aglomerata povyishennogo kachestva v sovremennyih usloviyah. Sistemnyie



tehnologii. Regionalnyiy mezhvuzovskiy sbornik nauchnyih trudov. – Dnepropetrovsk, 2014, - Vyipusk 4 (93), s. 32-38.

4. Romanenko V.P., Tehnologiya dvuhstadiynogo okomkovaniya aglomeratsionnoy shihtyi, V.P. Romanenko, G.N. Popov, respublikanskaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya «Teoreticheskie osnovyi i tehnologiya podgotovki metallurgicheskogo syirya k domennoy plavke, Dnepropetrovsk, 1980, s. 13-15.

5. Korshikov G.V., Sharov S.I. i dr. Vliyanie sposoba podachi topliva, ego vida i krupnosti na pokazateli protsessa spekaniya kontsentrata KMA. Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya, 1971, #3, S.37-39., #6, S.39-42.

6. Vyilupko E.E., Poluchenie okuskovannogo zhelezorudnogo materiala blochno-yacheestogo stroeniyaniya, E.E. Vyilupko, N.V. Ignatov, O.V. Guba, V.A. Usenko, A.P. Belova, “Suchasni problemi metalurgiyi”, # 14, – 2011 g, st. 50-57.

7. Hudyakov A.Yu., Boyko M.N., Bayul K.V., Vaschenko S.V., Polyakova N.V., Petrenko V.I. Alternativnyie sposobyi granulyatsii tonkoizmelchennyih zhelezorudnyih kontsentratov. Chernaya metallurgiya. Byulleten nauchno-tehnicheskoy i ekonomicheskoy informatsii. 2018;1(1):48-53.

*Received 9.01.19*

#### FEATURES OF AGGLOMERATE SINTERING USING BATCH WITH PREVIOUSLY PREPARED COMPOSITES

**Analysis of recent research and publications.** Considerable attention is paid to optimization of processes of pelletizing of agglomeration batch. One of decision is separated pelletizing of batch components before sintering.

**The aim of the study.** The objective of this article is development, theoretical and practical justification of the way of pelletizing of agglomeration batch. This will allow to form granules of given particle size and mineralogical composition, creating conditions for obtention block structure of agglomerate.

**Presentation of the main research material.** In the article we researched the ways of common and separated pelletizing of batch's components. This technology led to reducing the number of fraction 0-1 mm and increase of equivalent diameter of granules; to reducing of standard deviation and coefficient of variation. This testifies about acquiring more homogeneous granulometric composition of raw granules. At the same time when we pelletized raw granules separated, the content of fraction +10 mm in has increased significantly. This fraction has negative impact on the process of agglomerate sintering. The large pieces of ore and return which have substantially influence on the process of creation and growth of granules can be the main reason of such reaction. Moreover, unequal distribution of batch's components in granules is remained.

Despite the improvement of granulometric composition of raw granules, the use of separated pelletizing of batch has ambivalent impact on the processes of sintering and forming of high quality agglomerate with set structure and properties.

The best quality of agglomerate was received using the composite of “concentrate – ore – lime - limestone”, which had 0,9 – 1,0 units of basicity. It's possible to change the basicity while distributing limestone among composites. We decided to divide the ore into two fractions: 0-3 mm and 3-10 mm in order to enrich the effectiveness of pelletizing. 0-3mm fraction will use with the composition of first composite, 3-10 mm fraction will be used with return and residue of fluxes in the second composite.

Proposed technology means dosing, mixing and pelletizing of the composite. Dose and mix parallel residual batch with basicity 1,6-1,8 units. After this make the common granulation of composites in granulating machine. Add 0-7 mm coarseness fuel in the end of granulation.

**Presentation of the main research material.** Manufacturing of the agglomerate in this way let increase the output of usable agglomerate by 10,29% and fraction +5mm by 11,5% after the strength test.

**Keywords:** agglomerate, composite, granulation, strength test., fraction.

### ОСОБЕННОСТИ СПЕКАНИЯ АГЛОМЕРАТА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ШИХТЫ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ПОДГОТОВЛЕННЫМИ КОМПОЗИТАМИ

Исследована эффективность окомкования шихты с использованием предварительно подготовленных композитных материалов. Наилучшее качество агломерата получено при использовании композита с «концентрата - руды - извести - известняка», основность которого составляла 0,9-1,0 единиц. Композит и остаточная шихта параллельно увлажняли и смешивали, после чего проводили совместную грануляцию с добавлением твердого топлива. Производство агломерата предложенным способом позволяет улучшить производительность процесса и прочность материала.

**Ключевые слова:** агломерат, композит, гранулирование, прочность, фракция.

**Бочка Володимир Васильевич** – професор кафедри металургії чавуну, Національна металургійна академія України.

**Bochka Volodymyr Vasilievich** – professor of the department of metallurgy of pig iron, The National Metallurgical Academy of Ukraine.

**Сова Артем Валерійович** – молодший науковий співробітник кафедри металургії чавуну, Національна металургійна академія України.

**Sova Artem Valeriyovich** – junior researcher of the department of metallurgy of pig iron, The National Metallurgical Academy of Ukraine.

**Двоєглазова Аліса Вікторівна** – молодший науковий співробітник кафедри металургії чавуну, Національна металургійна академія України.

**Dvoyehlazova Alice Viktorovna** – junior researcher of the department of metallurgy of pig iron, The National Metallurgical Academy of Ukraine.

**Ягольник Максим Вікторович** – доцент кафедри металургії чавуну, Національна металургійна академія України.

**Yagolnik Maksim Viktorovich** – docent of department of metallurgy of pig iron, The National Metallurgical Academy of Ukraine.

**Ващенко Максим Александрович** – студент кафедри металургії чавуну, Національна металургійна академія України.

**Vashchenko Maksim Aleksandrovich** – student of the department of metallurgy of pig iron, The National Metallurgical Academy of Ukraine.